И. П. ЗАХАРЕНКО, В. В. ШПАКОВСКИЙ

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ЗАТОЧКА БЫСТРОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА КРУГАМИ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ И КУБОНИТА

Издательство «Наукова думка»
Киев — 1975

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
Институт сверхтвердых материалов

И.П.Захаренко, В.В.Шпаковский

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ЗАТОЧКА БЫСТРОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА КРУГАМИ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ И КУБОНИТА

(Научная информация)

Издательство "Наукова думка"
Киев - 1975

УДК 621.923.6:621.9.047.7:666.233

В брошюре приведены результаты лабораторных исследований работоспособности кругов из синтетических алмазов и кубонита при электролитическом шлифовании быстрорежущих сталей в зависимости от электрических и механических режимов и характеристик кругов, а также результаты производственных испытаний электролитической заточки алмазными кругами червячных фрез из быстрорежущей стали. Даются рекомендации по алмазно-электролитической и кубонитовой заточке инструмента из быстрорежущей стали.

Ответственный редактор
д-р техн.наук В.Н. Бакуль

Редакция информационных изданий

З 31009 - 547
М221(04)-75

© Институт сверхтвердых материалов АН УССР, 1975 г.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с широким распространением в современном машиностроении материалов с повышенными физико-механическими свойствами очень важной является разработка новых способов их обработки. Актуальность проблемы высокопроизводительной обработки этих материалов заключается в том, что известными методами они шлифуются плохо.

В последнее время широко распространяются электрические способы обработки материалов, применение которых позволяет высокоэффективно обрабатывать твердые и другие сплавы, высоколегированные, магнитные и другие стали.

Обработка материалов основана на использовании электрического тока в среде протекающего электролита, что исключает вредные термические явления в процессе обработки, обеспечивает высокую чистоту, точность и производительность. Все больше применяется алмазно-электролитическая заточка и шлифование.

Проведенными патентно-информационными исследованиями установлено, что большинство информации посвящено исследованию электролитического шлифования, раскрытию сущности и широкому внедрению его в промышленность в основном при обработке твердых сплавов.

Освещению вопросов, связанных с алмазно-электролитическим шлифованием жаропрочных, быстрорежущих, нержавеющих и других сталей, посвящено очень мало технической информации. Нам не удалось обнаружить патентов по электролитическому шлифованию быстрорежущих сталей. В литературе отсутствуют данные по выбору электрических, механических режимов обработки и характеристик алмазных кругов при заточке инструмента из быстрорежущих и других инструментальных сталей. Совершенно нет данных по работоспособности алмазных и кубонитовых кругов на новых связках при электролитической заточке ими быстрорежущего инструмента.

В связи с этим возникла необходимость проведения работ по исследованию работоспособности алмазных и кубонитовых кругов, механических и электрических режимов обработки, выбору характеристик кругов для электролитического шлифования быстрорежущих сталей, качества обработки, экономичности этого способа и других вопросов.

В Институте сверхтвердых материалов АН УССР проведена научно-исследовательская работа по решению указанных вопросов, технико-экономическая эффективность алмазно-электролитической заточки червячных фрез из быстрорежущей стали определена на Киевском заводе станков-автоматов им. Горького.

В выполнении настоящей работы принимали участие научные работники и инженеры Института сверхтвердых материалов АН УССР и Киевского завода станков-автоматов им. Горького – О.И.Моисеенко, Ю.Н.Малов, В.Р.Гайворон.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика и условия проведения работы

Целью настоящей работы является определение оптимальных механических и электрических режимов, характеристик алмазных кругов и эффективности электролитического шлифования инструмента из быстрорежущей стали и на основе этих данных и производственных испытаний разработка рекомендаций по алмазно-электролитической заточке быстрорежущего инструмента. Для этого исследовалось влияние на работоспособность алмазных кругов и качество обработки следующих факторов: связки круга, марки и зернистости алмазов и кубонита, их концентрации, величины напряжения тока, скорости вращения круга, продольной и поперечной подач. Работоспособность алмазных кругов при этом определялась следующими показателями: удельный расход алмазов, производительность и стоимость съема 1 г материала. В ходе опытов фиксировались также плотность тока и эффективная мощность.

Для установления удельного расхода алмазов величина изношенного алмазоносного слоя круга замерялась на инструментальном микроскопе, оборудованном оптической головкой длинномера мод. ИЗВ-2 по методике, разработанной ИСМ. Удельный расход алмазов определялся с учетом расхода их на чистку круга.

Вес снятого материала определялся взвешиванием на технических весах I класса типа ТТ-I с точностью ± I0 мг. Фактическая производительность обработки определялась количеством (г) или объемом ($мм^3$) снятого обработанного материала в единицу времени (мин). Величина шероховатости обработанной поверхности замерялась на микроскопе МИС-II, или на профилографе-профилометре мод. Н20I завода "Калибр" в зависимости от класса чистоты обработанной поверхности в соответствии с ГОСТ 2789-60. Наличие трещин проверялось на микроскопе МИМ-9.

Установление зависимостей алмазно-электролитического шлифования быстрорежущей стали проводилось на универсально-заточном станке мод. 3А64Д, модернизированном для этой цели.

Модернизация станка заключается в подводе отрицательного полюса постоянного электрического тока от источника (выпрямитель ВУ-I2/600) к алмазному кругу, положительного полюса – к обрабатываемой детали. Источник обеспечивает выход постоянного тока напряжением 6, 9, I0 в и рабочим током до 750 а. Параметры постоянного тока (U, I) контролируются вольтметром и амперметром.

На станке алмазный круг изолирован от корпуса станка. Станок оборудуется системой подачи и очистки электролита и системой отсоса его паров.

Опыты проводились при жестком закреплении образцов в трехповоротных тисках. Обрабатываемым материалом служили образцы из быстрорежущей стали Р18 в виде заготовок прямоугольного сечения размером 50х30х10 и 50х30х5. Для исключения влияния колебаний физико-механических свойств образцов на результаты испытаний все образцы проходят одновременную термическую обработку (HRC 62-64).

В качестве электролита использовался водный раствор следующего состава (%) : нитрат натрия ($NaNO_3$) - 5; нитрит натрия ($NaNO_2$) - 3; сегнетовая соль ($C_4H_4O_6KNa$) - 1 или бура ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) - 1; вода (H_2O) - остальное. Расход электролита 3-4 л/мин.

Для моделирования процесса алмазно-электролитической заточки червячных зуборезных фрез опыты проводились также при шлифовании образцов из быстрорежущей стали на полуавтомате для заточки червячных фрез мод. 3662, модернизированном для этой цели. Образцы 2 крепились в специальном приспособлении на оправке (рис. 1).

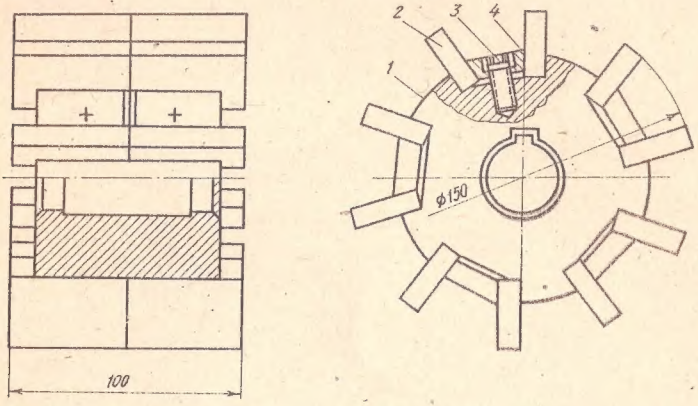

Рис. 1. Приспособление для электролитического шлифования образцов из быстрорежущей стали:

1 - корпус; 2 - нож; 3 - винт; 4 - клин.

В качестве алмазного инструмента использовались круги формы АЧК 150х20х3х32, а также тарельчатые формы А4Т, предназначенные для заточки червячных фрез.

При определении обрабатываемости различных марок быстрорежущих и инструментальных сталей алмазно-электролитическим способом опыты прово-

дились на станке мод. 3623 для электрохимичеокой заточки твердосплавных резцов.

Модернизация заточного полуавтомата мод. 3662, разработка приспособлений.

Ранее проведенными работами установлена возможность алмазно-электролитического шлифования быстрорежущей стали.

В качестве затачиваемого инструмента выбраны червячные зуборезные фрезы – один из наиболее сложных по изготовлению и дорогостоящий инструмент.

Принципиальная схема электролитической заточки червячных фрез на полуавтомате мод. 3662 приведена на рис. 2.

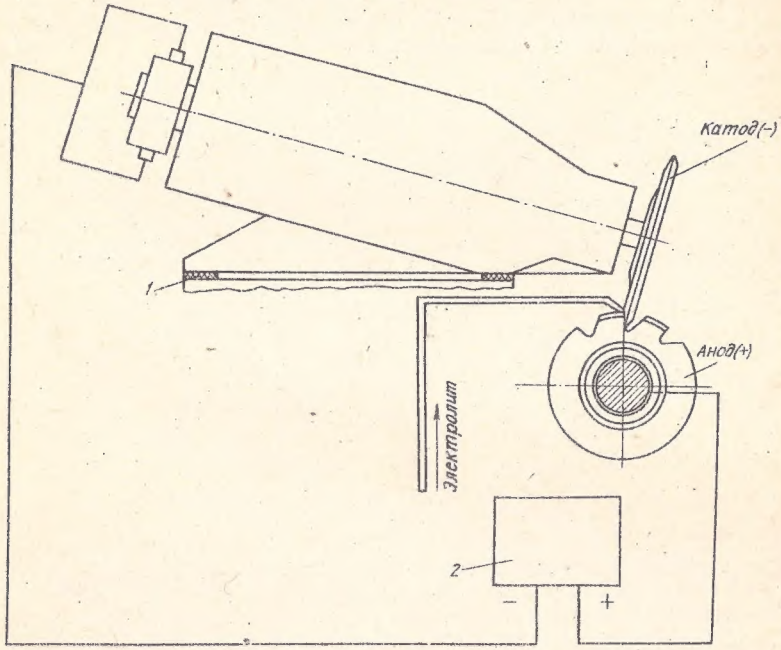

Рис. 2. Принципиальная схема алмазно-электролитической заточки червячных фрез из быстрорежущей стали на станке мод. 3662:
1 – изоляция; 2 – источник постоянного тока.

По результатам предварительных испытаний разработан рабочий проект и модернизирован станок мод. 3662. Модернизация станка предусматривала оснащение его устройством для подачи постоянного электрического тока к шлифовальному кругу и оправке с затачиваемой фрезой, электрическую изоляцию шлифовального круга и оправки с фрезой от корпуса станка и обору-

дование ограждения от разбрызгивания электролита для шлифовального круга формы А4Т, всей зоны обработки и устройствами для подачи, очистки электролита и отсоса его паров из зоны обработки, а также установку источника постоянного тока.

Предусмотрено включение постоянного тока как ручное, так и при помощи конечных переключателей. Для правки алмазных кругов электролитическим способом предусмотрен переключатель полярности тока.

На станке установлен двухскоростной электродвигатель, ваттметр для определения мощности шлифования и счетных двойных ходов. Детали, соприкасающиеся с электролитом, изготовлены из нержавеющей стали, винипласта, оргстекла и других неразрушающихся от действия электролита материалов.

Проект модернизации заточного полуавтомата мод. 3662 состоит из следующих основных узлов: шлифовальной головки, кожуха, установки для подачи и очистки электролита и узла крепления оправки с фрезой в центрах.

Модернизация шлифовальной головки (рис. 3) заключается в подводе электрического тока к алмазному кругу, изоляции шлифовальной головки от корпуса станка.

Узел подвода электрического тока состоит из промежуточного корпуса I, закрепляемого справа при помощи шпилек шлифовальной головки, слева к нему при помощи шпилек 2, прижимных шайб 3 и гаек 4 прикрепляется электродвигатель шлифовальной головки 5. Вращение от электродвигателя передается при помощи муфты на промежуточный вал 8, который в свою очередь передает вращение на шпиндель шлифовальной головки через шпонку 6.

В трех специальных пазах корпуса I размещаются медно-графитовые щетки 7, которые пружинами прижимаются к выступающей цилиндрической части вала 8.

Токоподводящая шина отрицательного полюса источника питания крепится при помощи гайки 9 и шайбы I0 к клеммному болту II, который запрессовывается в плиту I2, к плите I2 при помощи винтов I3 присоединяются промежуточные провода от медно-графитовых щеток. Для предотвращения попадания в шарикоподшипники I4 пыли, образующейся от трения медно-графитовых щеток 7 по валу 8, предусмотрено лабиринтное уплотнение, состоящее из двух прокладок I5 и I6.

Пыль, образуемая вследствие износа щеток, будет выпадать через окно из станка наружу. Для прижима медно-графитовых щеток к валу 8 по мере их износа служат палец I7 и пружина I8.

Постоянный электрический ток поступает с медно-графитовых щеток на промежуточный вал 8, а с него на шпиндель шлифовальной головки, на коническом хвостовике которого в специальной оправке закрепляется алмазный круг.

Узел подвода электрического тока к алмазному кругу изолирован от корпуса станка следующим образом.

Плита I2, к которой подключается отрицательный полюс источника питания, изолируется от промежуточного корпуса I при помощи текстолитовых втулок, I9, располагаемых на шпильках 20.

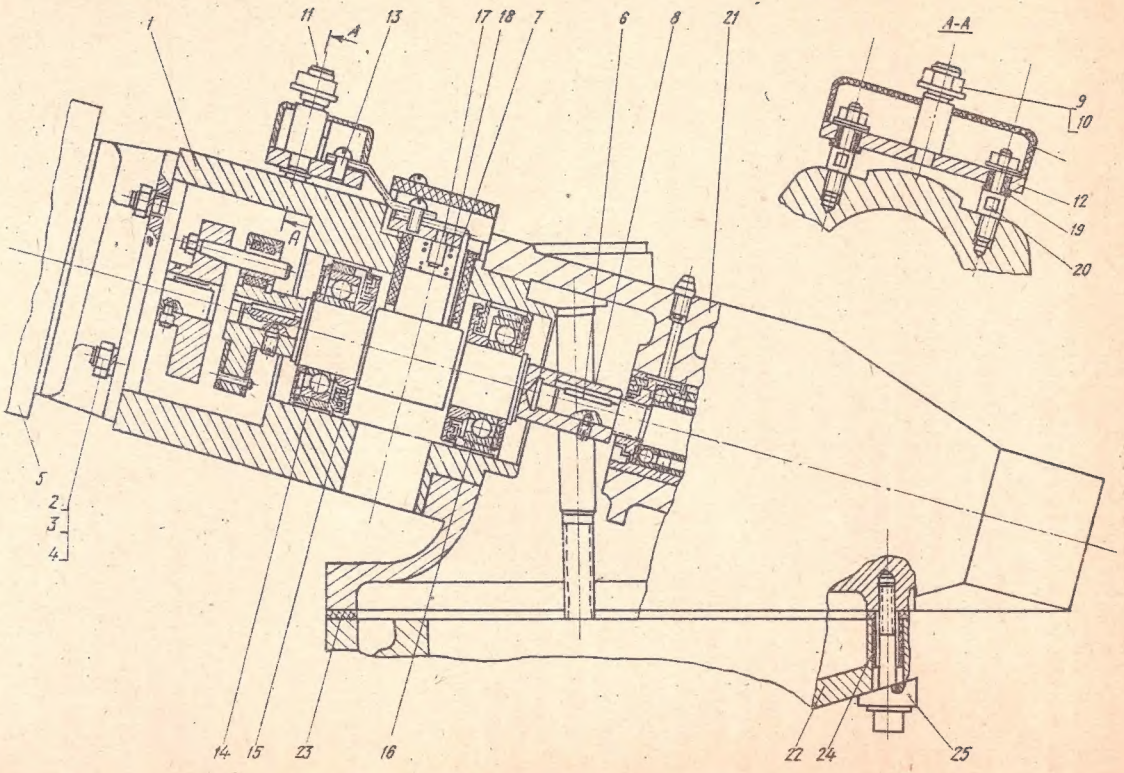

Рис. 3. Модернизированная шлифовальная головка.

Корпус шлифовальной головки 21 изолируется от колонны 22 при помощи текстолитовых подкладок 23, втулки 24 и специальной шайбы 25.

Общий вид модернизации станка представлен на рис. 4, а.

Ограждение (рис. 4, в) представляет собой сварную конструкцию из листовой стали. Оно предназначено для предотвращения разбрызгивания электролита и удобного обслуживания станка.

В задней части ограждения предусмотрено окно, в котором размещается корпус шлифовальной головки. Предусмотрен также защитный кожух 2 задней части ограждения в виде гармошек из искусственной кожи. Гармошки с одной стороны закрепляются к корпусу ограждения, а с другой – к винипластовой рамке-окну ограждения.

Для защиты заточника от брызг электролита предусмотрена шторка 3 с двумя ручками 4 из органического стекла, передвигаемая в специальных направляющих.

Для предотвращения вытекания электролита в местах расположения центров, в которых зажимается оправка с червячной фрезой, предусмотрены специальные уплотнения 5 и 6 (рис. 4, б).

Конструкция ограждения имеет уклон дна для естественного стока электролита через специальный ниппель 7 (рис. 4, в).

К корпусу ограждения привариваются специальные косынки 8 и 9 с продольными пазами для крепления ограждения к столу заточного полуавтомата. Для удобства обслуживания и оснащения рабочей зоны предусмотрена люминесцентная лампа 10. К корпусу ограждения крепится патрубок 11 для отсоса паров электролита из зоны обработки.

Кожух круга (рис. 4, в) представляет собой жесткую сварную конструкцию и состоит из корпуса 1, щитка из оргстекла 12, ниппеля для присоединения патрубка 13, по которому протекает электролит, стенки 14 и охватывающего сопла (рис. 5).

В корпусе 1 выполнены отверстия для подачи электролита в зону обработки. Для регулирования расхода электролита предусмотрен кран, а для равномерного попадания электролита в зону обработки – специальное охватывающее сопло (рис. 5). Основной частью сопла является наконечник 1 со специальным пазом, превышающим ширину алмазоносного слоя. Наконечник как бы охватывает алмазоносный слой круга, предотвращает разбрызгивание электролита по сторонам, направляя его в зону обработки.

Зазор между наконечником и алмазоносным слоем круга регулируется ручкой 2, соединенной со стержнем 3 при помощи цилиндрического штифта 4.

Для устранения вытекания электролита вокруг наконечника 1 предусмотрен фланец 5 с уплотнительным кольцом 6. Фланец 5 крепится к корпусу 7 винтом 9, между корпусом 7 и фланцем расположена кольцевая резиновая прокладка 9. Для предотвращения попадания брызг электролита на

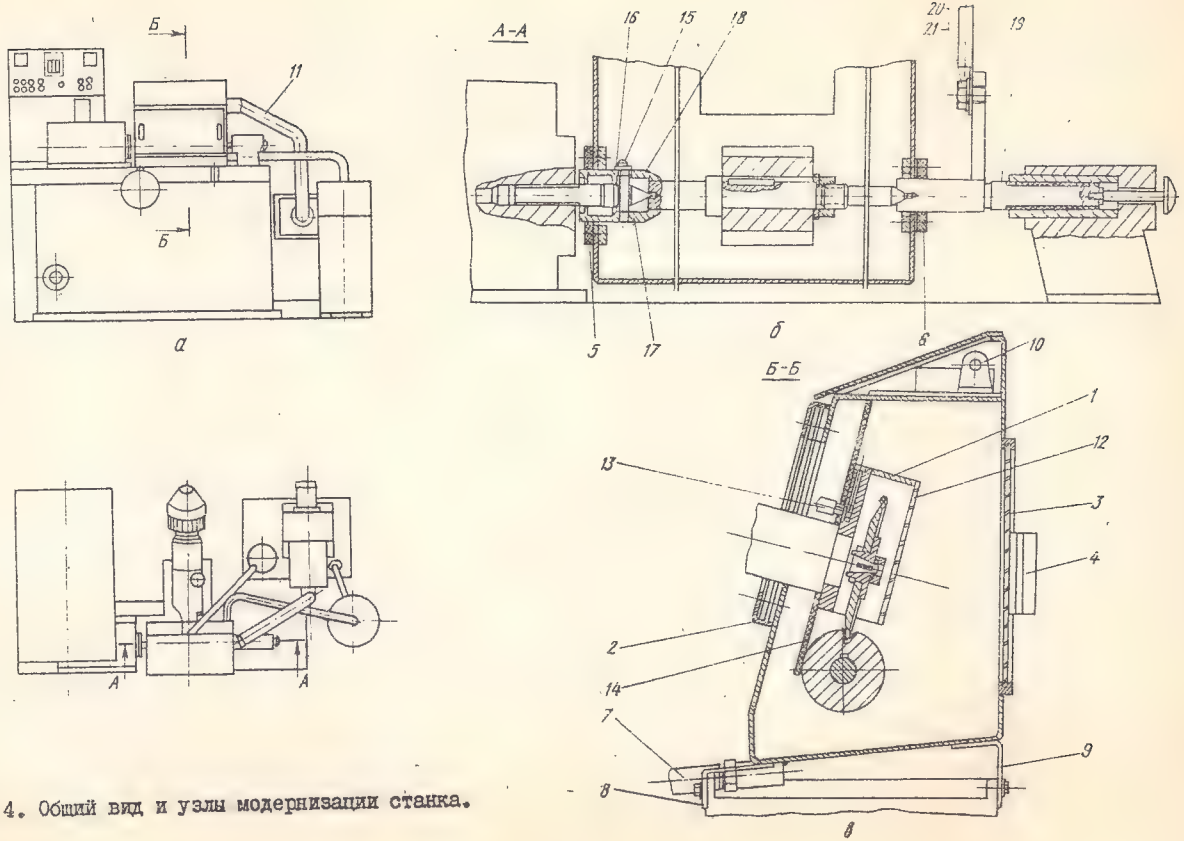

Рис. 4. Общий вид и узлы модернизации станка.

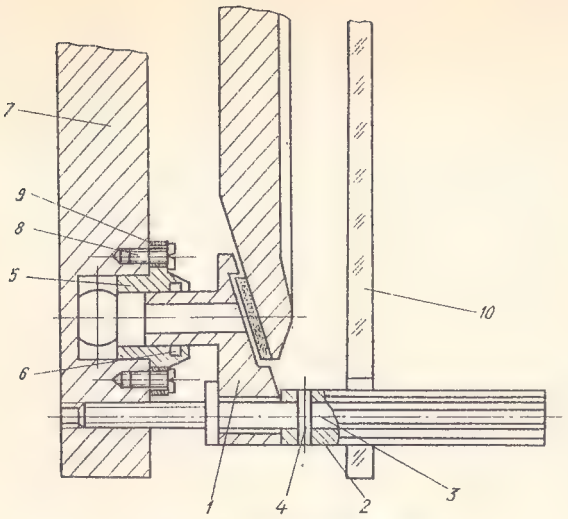

Рис. 5. Охватывающее сопло.

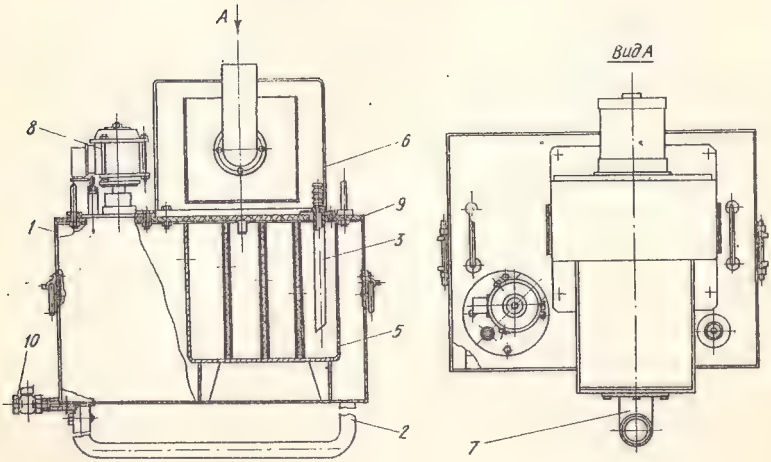

Рис. 6. Установка для подачи и очистки электролита.

корпус шлифовальной головки предусмотрена резиновая стенка I4 (см. рис. 4, в).

Алмазный круг, посаженный на шпинделе, ограждается с торца щитком I0 из орготекла.

Установка для подачи и очистки электролита (рис. 6) состоит из бака I, установленного на салазки 2, отстойника 5, размещаемого внутри бака, влагоотделителя 6, патрубка 7, электронасоса 8 типа НА-22 для подачи электролита в зону обработки и центрифуги. Влагоотделитель 6 и электронасос 8 крепятся к винипластовой крышке 9. Для удобства слива загрязненного электролита предусмотрен вентиль I0. Электролит из зоны обработки по трубопроводу попадает в центрифугу, где происходит его очистка. Из центрифуги по трубопроводу 3 электролит попадает в отстойник 5, в котором имеется три винипластовые перегородки с отверстиями для протекания электролита. В отстойнике электролит окончательно очищается и через сливное окно в корпусе отстойника попадает в бак, откуда при помощи электронасоса 8 подается в зону обработки.

Пары электролита по патрубку 7 попадают во влагоотводитель 6. Капельки влаги оседают на дне и по сливному патрубу попадают в отстойник.

Узел крепления оправки с фрезой в центрах (рис. 4, б). Оправка с фрезой крепится в центрах делительной и задней бабок заточного полуавтомата.

Оправка со стороны делительной бабки закрепляется шпилькой I5 и гайкой I6 и полумуфтами I7 и I8, а со стороны задней бабки – поджимается специальным центром I9. Для изоляции оправки с фрезой передний и задний центр покрыты самотвердеющей смолой АСТ-Т.

К цилиндрической части заднего центра приваривается клеммная пластина, к которой при помощи болта 20 и шайбы 2I крепится шина положительного полюса источника питания.

Приспособление для замера износа алмазного круга формы 4Т.

Для замера износа кругов формы А4Т спроектировано и изготовлено специальное приспособление (рис. 7). Она представляет собой круглую плиту I, сошлифованную под углом $I8^{0}$. В основании плиты выполнена прямоугольная выточка для удобного расположения приспособления на базовой площадке инструментального микроскопа. Для центрирования круга на опорной плите предусмотрен палец 3 с гайкой 2. Горизонтальное расположение круга, установленного в приспособлении, дает возможность замерять износ алмазоносного слоя при помощи инструментального микроскопа, оснащенного оптической головкой ИЗВ-2. Опорная поверхность, на которой располагается алмазный круг, подвергается термообработке до твердости HPC 58-62.

Использование данного приспособления позволяет с высокой точностью определить величину удельного расхода, а также сокращает время на проведение опытов.

Специальное устройство к станку мод. 3662 предназначено для измерения осевой P_y и тангенциальной P_z составляющей усилия резания и

температуры, возникающей при электролитической заточке червячных фрез. Пределы измерения:

P_y – 0 – 75 кг; P_z – 0 – 30 кг; t – 0 – 1000°С.

Устройство состоит из крутильного динамометра с наклеенными на него тензодатчиками сопротивления (динамометрическая оправка), контактных устройств, усилителя, выпрямителя и осциллографа.

В процессе заточки силы P_y и P_z, воздействуя на оправку, вызывают скручивание последней. Деформация скручивания воспринимается тен-

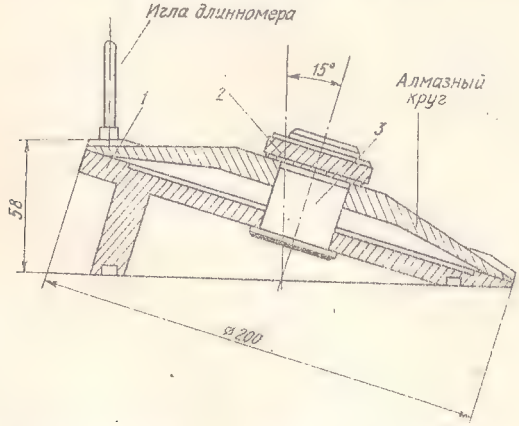

Рис. 7. Приспособление для замера износа алмазного круга формы А4Т.

зодатчиками сопротивления типа ФКПА с базой 15 мм и сопротивлением 100 ом (4 шт.). Тензодатчики включены по мостовой схеме. Изменение сопротивления одного из датчиков обусловит появление электрического тока в измерительной диагонали моста, ток через усилитель протекает на стрелочные приборы для визуального наблюдения и на осциллограф для записи.

Устройство снабжено приспособлением для тарирования динамометрической оправки. Конструктивно устройство выполнено таким образом, что на нем можно проводить исследование температуры в зоне резания. Между образцами защепляется хромель-алюмелевая термопара; термоэлектродвижущая сила, возникающая в цепи, регистрируется осциллографом.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АЛМАЗНО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ШЛИФОВАНИЯ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Влияние напряжения электрического тока. Для установления влияния напряжения технологического тока на исследуемые показатели использовались круги из синтетических алмазов АЧК150 х 20 х 3 х 32 – АСР 100/80 – МВ1 – 100.

Опыты проводились при скорости вращения круга $V_к$ = 25 м/сек, продольной подаче $S_{пр}$ = 2 м/мин, поперечной подаче $S_{поп}$ = 0,05 мм/дв.ход, напряжении постоянного тока U = 6; 9; 10 в. В процессе опытов обрабатывались образцы быстрорежущей стали Р18 ($F_{шл}$ = 300 мм^2).

Результаты опытов представлены в табл. 1, из которой следует, что с увеличением напряжения от 6 до 9 в удельный расход снижается с 6,6 до 4,8 мг/г (с 57,2 до 42,0 мг/см^3), а при дальнейшем увеличении напряжения до 10 в удельный расход возрастает и достигает значения 5,7 мг/г (49,4 мг/см^3).

Вместе с возрастанием напряжения от 6 до 9 в увеличивается и плотность тока, особенно в интервале 9 – 10 в. С возрастанием напряжения от 6 до 9 в плотность тока увеличивается в 1,6 раза, а при достижении U = 10 в плотность тока достигает 100 а/см^2, что в 3,6 раза выше, чем при напряжении 6 в.

Ввиду того, что алмазно-электролитическое шлифование проводилось при жестком креплении образцов, производительность шлифования менялась в исследуемом диапазоне напряжений незначительно, имея тенденцию к увеличению с возрастанием напряжения. Отмечено также снижение эффективной мощности с увеличением напряжения.

Некоторое повышение производительности шлифования может быть объяснено увеличением плотности тока. С увеличением напряжения электролитический процесс осуществляется более интенсивно и доля съема материала механическим способом уменьшается, что и снижает эффективную мощность.

Стоимость обработки 1 г материала снижается с повышением напряжения до 9 в, а затем незначительно увеличивается за счет повышения удельного расхода алмазов. Минимальная стоимость имеет место при напряжении 9 в.

Увеличение напряжения способствует интенсивному электролитическому растворению, которое особенно выражено при U = 10 в. При этом наблюдается увеличение удельного расхода, что может быть объяснено эрозией поверхности алмазоносного слоя круга под действием возникающих микродуг.

Проведен опыт по исследованию работоспособности кругов на связке М013. Испытывался круг АЧК 150 х 20 х 3 – АСВ 63/50 – М013 – 100 при $V_к$ = 25 м/сек; $S_{пр}$ = 1,5 м/мин; $S_{поп}$ = 0,05 мм/дв.ход при обработке образцов из стали Р18 ($F_{шл}$ = 300 мм^2).

Как видно из рис. 8, с повышением напряжения от 6 до 10 в удельный расход и стоимость обработки снижается, производительность возрастает незначительно, а плотность тока имеет тенденцию к повышению. Необходимо отметить высокий удельный расход (15,9 мг/г при U=6 в) при алмазно-электролитическом шлифовании образцов из быстрорежущей стали Р18 кругами на связке М013. Несмотря на использование в данном круге алмазов марки АСВ, круги на этой связке в электролитическом режиме работают плохо. Намного эффективнее работают в условиях электролитического шлифования круги на связке М013Э.

Влияние скорости резания на исследуемые показатели определялось при работе кругов АЧК 150 х 3 х 32 х 20 – АСР 100/80-МВ1-100 при $S_{пр}$ = =1,5 м/мин, $S_{поп}$ =0,05 мм/дв.ход, U =6 в. Скорость резания составляла 19, 25, 38, 50 м/сек. Результаты исследований представлены на рис.9.

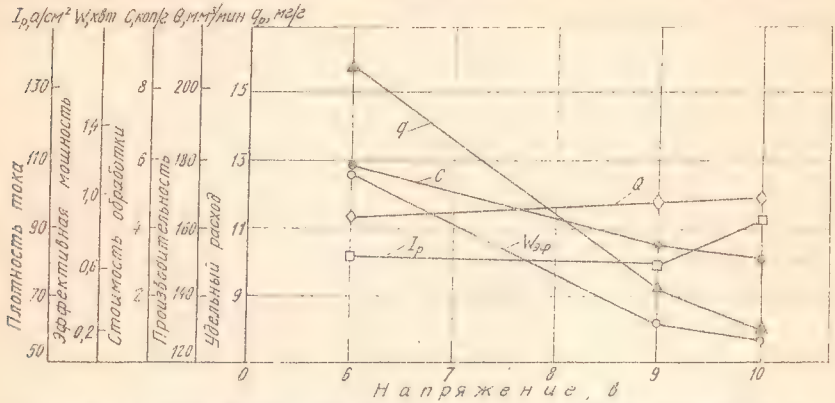

Рис. 8. Зависимость удельного расхода, производительности, стоимости обработки, эффективной мощности и плотности тока от напряжения при электролитическом шлифовании быстрорежущей стали Р18.

Анализ полученных результатов показывает, что с увеличением скорости вращения круга от 19 до 38 м/сек незначительно снижается удельный расход и увеличивается эффективная мощность, затрачиваемая на резание. Стоимость обработки в этом интервале скоростей наименьшая и составляет 1,51 – 1,46 коп./г.

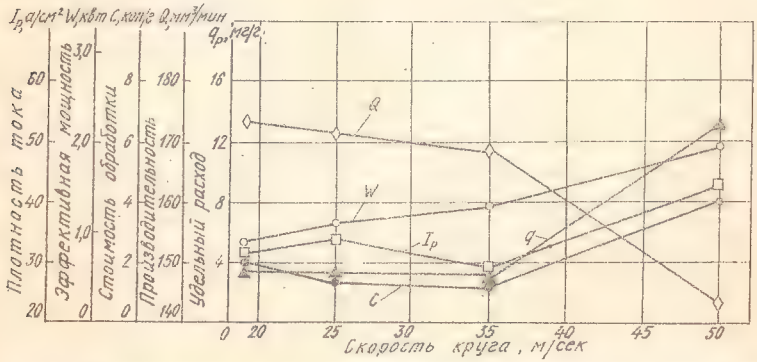

Рис. 9. Зависимость удельного расхода, производительности, стоимости обработки, эффективной мощности, плотности тока от скорости круга при электролитическом шлифовании стали Р18.

Таблица I

Зависимость удельного расхода, производительности, эффективной мощности, плотности тока и стоимости алмазно-электролитической обработки быстрорежущей стали Р18 от напряжения тока

Напряжение, в	Объем наблюдений: Количество опытов	Израсходовано алмазов, мг	Сошлифовано материала: г	см^3	Удельный расход: мг/г	мг/см^3	Фактическая производительность обработки: мм^3/мин	г/мин	Средняя плотность тока, а/см^2	Средняя эффективная мощность, квт	Средняя стоимость съема 1 г материала, коп.
6,0	3	1949,12	295,33	34,0	6,6	57,2	201	1,74	30	0,70	2,21
9,0	4	1923,12	397,16	45,7	4,8	42,0	203	1,76	45	0,32	1,75
10,0	3	1733,04	304,60	35,1	5,7	49,4	211	1,83	100	0,21	1,94

Таблица 2

Зависимость удельного расхода, производительности, эффективной мощности, плотности тока и стоимости алмазно-электролитической обработки быстрорежущей стали Р18 от продольной подачи

Продольная подача, м/мин	Объем наблюдений: Количество	Израсходовано алмазов, мг	Вес и объем сошлифованной стали: г	см^3	Удельный расход: мг/г	мг/см^3	Фактическая производительность обработки: мм^3/мин	г/мин	Средняя плотность тока, а/см^2	Средняя эффективная мощность, квт	Средняя стоимость съема 1 г материала, коп.
1,0	6	2714,50	528,58	60,9	4,7	44,5	121	1,05	25	0,87	2,03
1,5	6	1920,96	589,80	67,7	3,3	28,2	172	1,49	35	1,0	1,42
2,0	3	1949,12	295,33	34,0	6,6	57,3	201	1,74	30	0,7	2,21

При дальнейшем увеличении окружной скорости кругов от 50 м/сек снижается производительность обработки и резко увеличивается удельный расход и стоимость обработки. В этом интервале удельный расход алмазов увеличивался до 13,2 мг/г или в 4,1 раза.

Во всем диапазоне скоростей наблюдается возрастание эффективной мощности с увеличением скорости вращения круга.

В диапазоне скоростей 19-25 м/сек плотность тока незначительно увеличивается, а при увеличении скорости до 35 м/сек также незначительно уменьшается. При дальнейшем увеличении скорости резания увеличивается плотность тока. Несмотря на это производительность шлифования снижается, алмазный круг быстро потеряет режущую способность, наблюдается резкое возрастание эффективной мощности вследствие большого трения круга с частичками металла в порах по образцу; это приводит к перегрузке и остановке электродвигателя. Универсально-заточной станок имеет электродвигатель малой мощности (0,7/1 квт). Практически на скорости вращения круга 50 м/сек при напряжении 6 в алмазно-электролитическое шлифование быстрорежущей стали Р18 очень затруднено.

Влияние продольной подачи. Испытания проводились кругом АЧК 150 х 20 х 3 х 32 - АСР 100/80 - МВ1 - 100 при обработке образцов быстрорежущей стали Р18 ($F_{шл}$ = 300 мм^2) при продольных подачах 1; 1,5; 2,0 м/мин, $v_к$ = 25 м/сек; $S_{пол}$ = 0,05 мм/дв.ход, U = 6 в.

Результаты испытаний показали, что с увеличением продольной подачи с 1 до 1,5 м/мин наблюдается снижение удельного расхода и стоимости обработки(табл.2). Удельный расход снизился с 4,7 до 3,3 мг/г, а производительность повысилась с 121 до 172 мм^3/мин. При продольной подаче 1,5 м/мин стоимость обработки минимальная и составляет 1,42 коп/г. С дальнейшим увеличением продольной подачи до 2 м/мин наблюдается возрастание производительности и резкое увеличение удельного расхода и стоимости обработки вследствие преобладающего механического резания перед электролитическим растворением.

Проведены также опыты по шлифованию образцов из быстрорежущей стали Р18 ($F_{шл}$ = 150 мм) кругом АЧК 150 х 20 х 3 х 32 АСР 100/80 - МО13Э - 100 при $v_к$ = 25 м/сек, $S_{пол}$ = 0,075 мм/дв.ход, U = 10 в на $S_{пр}$ = 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 и 3,0 м/мин (рис. 10).

С увеличением продольной подачи от 1 до 3 м/мин наблюдается снижение удельного расхода и почти пропорциональное увеличение производительности и эффективной мощности с 0,14 до 0,42 квт, т.е. в 3 раза, за счет все более увеличивающейся доли механического съема материала. Ввиду малой площади обработки плотность тока увеличивается незначительно, в основном за счет более быстрого перемещения образца относительно алмазоносного слоя круга. Стоимость обработки меняется незначительно, имея тенденцию к снижению.

Влияние поперечной подачи при жестком электролитическом шлифовании быстрорежущей стали Р18 ($F_{шл}$ = 300 мм^2) исследовалось алмазным кругом

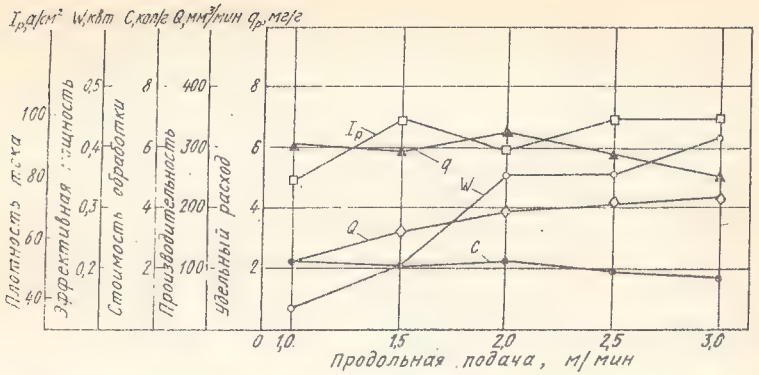

Рис. 10. Зависимость удельного расхода, производительности, эффективной мощности, плотности тока и стоимости обработки от продольной подачи при электролитическом шлифовании быстрорежущей стали Р18.

АЧК 150 х 20 х 3 х 32 АСР 100/80-МВ1-100 при изменении поперечной подачи от 0,025 до 0,075 мм/дв.ход. Другие режимы были постоянными – $v_к$ = =25 м/сек, $S_{пр}$ = 1,5 м/мин, U = 6 в.

Результаты испытаний приведены на рис. 11, а.

Проведенные исследования влияния поперечной подачи на работоспособность алмазных кругов при электролитическом шлифовании показали, что с увеличением поперечной подачи от 0,025 до 0,075 мм/дв.ход производительность возрастает в 2 раза (с 86 до 167 мм³/мин). Оптимальной поперечной подачей является 0,05 мм/дв.ход. При этом удельный расход и стоимость обработки имеют минимальные значения (соответственно 3,3 мг/г и 1,42 коп/г).

Увеличение поперечной подачи до 0,075 мм/дв.ход сопровождается резким увеличением мощности и стоимости обработки. Это объясняется ухудшением условий резания зерен алмазного круга. Уменьшается доля электрохимического растворения материалов за счет возрастания механического шлифования. Увеличивается количество материала при съеме единичным зерном, возрастают усилия и, соответственно, эффективная мощность резания. При этом интенсивно выкрашиваются зерна алмазного круга из связки, которая разрушается.

Повышение напряжения до 9 – 10 в значительно улучшает условия электрохимического растворения материала. При этом возможна эффективная обработка быстрорежущей стали с поперечными подачами 0,075 мм/дв.ход и более.

Проведены опыты по алмазно-электролитическому шлифованию образцов быстрорежущей стали Р18 ($F_{шл}$ = 150 мм) при изменении поперечной подачи от 0,25 до 0,150 мм/дв.ход на следующем режиме: $v_к$ = 25 м/сек, $S_{пр}$ = =1,5 м/мин, U = 10 в.

Результаты опытов приведены на рис. 11, б.

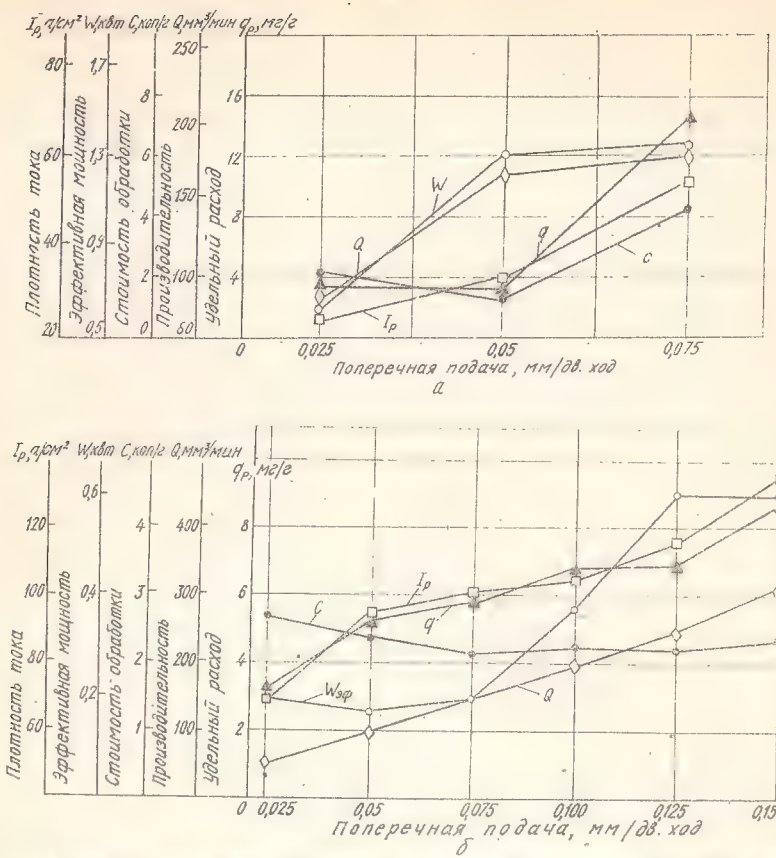

Рис. II. Зависимость удельного расхода, производительности, стоимости обработки, эффективной мощности и плотности тока от поперечной подачи при электролитическом шлифовании быстрорежущей стали Р18.

Как видно из рис. II, с увеличением поперечной подачи от 0,025 до 0,15 мм/дв.ход удельный расход увеличивается в 2,4 раза (с 3,3 до 7,8 мг/г). Фактическая производительность обработки увеличивается пропорционально поперечной подаче, достигая значения 315 мм^3/мин при $S_{поп}$ = 0,15 мм/дв.ход.

В исследованном диапазоне поперечных подач наблюдается повышение плотности тока и эффективной мощности соответственно в 1,9 и 3,0 раза. Несмотря на возрастание удельного расхода стоимость обработки с увеличением поперечной подачи изменяется мало и имеет свое минимальное значение при $S_{поп}$ = (0,075÷0,125) мм/дв.ход.

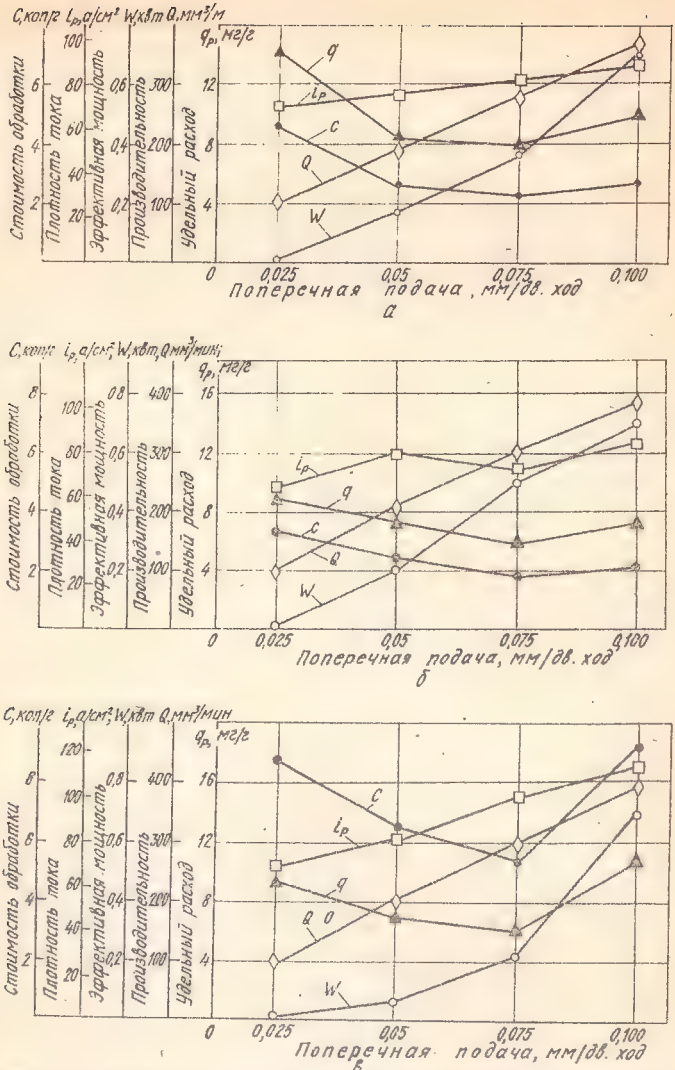

Рис. 12. Зависимость удельного расхода, производительности, эффективной мощности, плотности тока, стоимости обработки от поперечной подачи при электролитическом шлифовании стали Р18 при работе кругами: а – АСР 100/80–М01ЭЭ–100; б – АСР 100/80–М04–100; в – БП 100/80–М04–100.

При шлифовании образцов из быстрорежущей стали Р18 ($F_{шл}$ = 300 мм^2) с использованием напряжения 10 в получены несколько иные данные. Опыты проводились алмазными кругами АЧК 150 х 20 х 3 х 32 АСР 100/80–100 на связках М01Э9, М04, МВ1, МЭ1, а также кругами из кубонита ЧК 150 х 20 х 3 х 32 – БП и БН 100/80–100 на связке М04 при $v_к$ = 25 м/сек, U = 10 в, $S_{пр}$ = 1,5 м/мин, $S_{поп}$ = 0,025; 0,05; 0,075 и 0,100 мм/дв.ход.

Результаты опытов представлены в табл. 3, 4 и на рис. 12.

С увеличением поперечной подачи от 0,025 до 0,100 мм/дв.ход наблюдается возрастание плотности тока, фактической производительности и эффективной мощности на шлифование. В исследуемом диапазоне поперечных подач удельный расход снижается до $S_{поп}$ = 0,075 мм/дв.ход с последующим возрастанием при увеличении поперечной подачи до $S_{поп}$ = 0,100 мм/дв.ход. Соответственно этому минимальное значение имеет также и стоимость съема 1 г материала. Такая закономерность наблюдается на всех исследованных связках кругов как алмазных, так и из кубонита.

Влияние связки круга. Для исследований зависимости удельного расхода, производительности и стоимости обработки от связки круга были использованы алмазные круги АЧК 150 х 20 х 3 х 32 на металлических связках М1, МС2, МС5, М01Э9 и МВ1.

Испытания проводились при электролитическом шлифовании быстрорежущей стали Р18 ($F_{шл}$ = 300 мм^2) при $v_к$ = 19 м/сек, $S_{пр}$ = 1,5 м/мин, $S_{поп}$ = =0,05 мм/дв.ход, U = 6 в.

Результаты испытаний приведены на рис. 13, из которого видно, что наилучшей работоспособностью обладают круги на новых связках МВ1 и М01Э9. Алмазные круги на этих связках обеспечивают низкий удельный расход (4,4–4,9 мг/г) при высокой производительности и незначительной стоимости обработки (0,9 – 2,76 коп/г).

Круги на связках МВ1 и М01Э9 обладают высокой электропроводностью и другими свойствами, что обеспечивает их высокую работоспособность.

Наличие силикатов в связках МС2 и МС5 увеличивает электролитическое сопротивление как самого материала связки, так и рабочего промежутка, ухудшая условия электрохимического растворения обрабатываемого материала. Работа кругов на этих связках характеризуется повышенной эффективной мощностью, расходуемой на шлифование, и склонностью к быстрому засаливанию круга при напряжении 6 в. Продукты анодного растворения и стружка, образующаяся при шлифовании, заполняют поры алмазоносного слоя, чем увеличивают коэффициент трения между кругом и деталью. При этом режущая способность круга падает. Аналогичная картина наблюдается и при работе кругами на связке М1.

Исследованиями установлено, что на приведенных выше режимах с применением кругов на связках М1, МС2, МС5 обработка быстрорежущей стали Р18 сопровождается засаливанием круга.

Испытания этих кругов в режиме шлифования без электрического тока

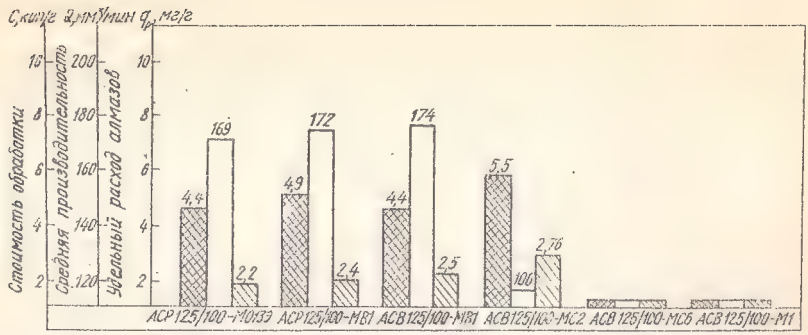

Рис. I3. Зависимость удельного расхода, производительности и стоимости шлифования быстрорежущей стали Р18 от связки круга и марки алмазов: ▨ – q, мг/г; □ – Q, мм^3/мин; ▧ – С, коп/г.

показали, что вследствие интенсивного засаливания алмазоносного слоя быстрорежущей сталью работа ими невозможна.

Для определения оптимальной связки круга при электролитическом шлифовании проводились исследования кругов АЧК 150 х 20 х 3 х 32 – АСР 100/80-100, НП 100/80 и БН 100/80 на связках М0139, М04, МВ1 и МЭ1 при изменении поперечной подачи от 0,025 до 0,100 мм/дв.ход. Другие режимы были постоянными и составляли: $v_к$ =25 м/сек, U =10 в, $S_{пр}$ =1,5 м/мин. Результаты опытов приведены в табл. 5, 6 и на рис. 12.

Экспериментами установлена высокая работоспособность кругов на связках МВ1, М0139 и М04. В указанном диапазоне поперечных подач все круги изнашивались по одинаковой закономерности. Круги на этих связках обеспечивают высокую производительность, достигающую 360–400 мм^3/мин при сравнительно невысокой стоимости обработки.

Опытами установлено, что на указанных режимах с точки зрения стоимости обработки оптимальной поперечной подачей является $S_{поп}$ = =0,075 мм/дв.ход. Необходимо отметить, что круг на электролитической связке МЭ1 на $S_{поп}$=0,025 и 0,05 мм/дв.ход обеспечивал фактическую производительность, соответственно равную 101 и 187 мм^3/мин при очень низкой стоимости обработки 1,36 – 1,11 коп/г. При увеличении поперечной подачи до 0,075 мм/дв.ход круг работал очень жестко, изнашиваясь в основном по внутренней и периферийной кромкам. Связка этого круга твердая, круг работает плохо, снижается плотность тока, увеличивается искрение в зоне обработки. Следовательно, круги на связке МЭ1 могут эффективно работать в условиях малых поперечных подач, где необходима высокая кромкостойкость круга.

Круги из кубического нитрида бора марки НП на указанных режимах обеспечивают удельный расход, в 1,15 раза больший, чем круги из кубони-

Таблица 3

Зависимость удельного расхода, производительности, эффективной мощности и стоимости алмазно-электролитической обработки быстрорежущей стали Р18 кругами АЧК 150х20х3х32 АСР 100/80-М01Э9-100-108 от поперечной подачи

Поперечная подача, мм/дв.ход	Объем наблюдений: Количество опытов	Израсходовано алмазов, мг	Сошлифовано материала: г	Сошлифовано материала: $см^3$	Удельный расход: мг/г	Удельный расход: $мг/см^3$	Фактическая производительность обработки: $мм^3$/мин	Фактическая производительность обработки: г/мин	Средняя плотность тока, $а/см^2$	Средняя эффективная мощность, квт	Средняя стоимость съема 1 г материала, коп.
0,025	6	1492	104,10	12,0	14,23	123,5	106	0,92	70	0,02	4,64
0,05	6	1230	147,75	17,0	8,32	72,4	200	1,74	74	0,18	2,66
0,075	6	1185	155,23	17,9	7,68	66,2	284	2,46	83	0,37	2,33
0,100	6	1472	151,08	17,4	9,74	84,5	364	3,16	90	0,70	2,80

Таблица 4

Зависимость удельного расхода, производительности, плотности тока, эффективной мощности и стоимости алмазно-электролитической обработки быстрорежущей стали Р18 кругом АЧК 150х20х3х32 АСР 100/80 - МЭ1-100-108 от поперечной подачи

Поперечная подача, мм/дв.ход	Объем наблюдений: Количество опытов	Израсходовано алмазов, мг	Сошлифовано материала: г	Сошлифовано материала: $см^3$	Удельный расход: мг/г	Удельный расход: мг/$см^3$	Фактическая производительность обработки: $мм^3$/мин	Фактическая производительность обработки: г/мин	Средняя плотность тока, $а/см^2$	Средняя эффективная мощность, квт	Средняя стоимость съема 1 г материала, коп.
0,025	6	221,5	156,06	18	1,42	12,3	101	0,88	70	0,02	1,36
0,050	3	173,1	77,31	8,9	2,24	19,5	187	1,62	70-50	0,85	1,11
0,075	Круг твердый, не режет, опыт прекращен										

Таблица 5

Зависимость удельного расхода, производительности, плотности тока, эффективной мощности и стоимости алмазно-электролитической обработки быстрорежущей стали Р18 кругом АЧК 150х20х3х32 АСР 100/80 МВ1-100-108 от поперечной подачи

Поперечная подача, мм/дв.ход	Объем наблюдений: Количество опытов	Израсходовано алмазов, мг	Сошлифовано материала: г	Сошлифовано материала: см³	Удельный расход: мг/г	Удельный расход: мг/см³	Фактическая производительность обработки: мм³/мин	Фактическая производительность обработки: г/мин	Средняя плотность тока, а/см²	Средняя эффективная мощность, квт	Средняя стоимость съема 1г материала, коп.
0,025	6	882	107,45	12,4	8,20	71,2	98	0,85	65	0,02	3,15
0,050	7	1453	177,51	20,5	8,19	70,9	201	1,74	90	0,2	2,62
0,075	6	1227	162,60	18,7	7,54	65,5	292	2,54	85	0,4	2,30
0,100	Электродвигатель останавливается, опыт прекращен										

Таблица 6

Зависимость удельного расхода, плотности тока, производительности, эффективной мощности и стоимости алмазно-электролитической обработки быстрорежущей стали Р18 кругом ЧК 150х20х3х32 НЦ 100/80 М04-100-108 от поперечной подачи

Поперечная подача, мм/дв.ход	Объем наблюдений: Количество опытов	Израсходовано алмазов, мг	Сошлифовано материала: г	Сошлифовано материала: см³	Удельный расход: мг/г	Удельный расход: мг/см³	Фактическая производительность обработки: мм³/мин	Фактическая производительность обработки: г/мин	Средняя плотность тока, а/см²	Средняя эффективная мощность, квт
0,025	6	900	109,05	12,6	8,25	71,4	105	0,91	70	0,02
0,050	6	1012	156,29	18,0	6,47	56,3	200	1,74	90	0,10
0,075	6	929	166,35	19,2	5,58	48,4	295	2,56	85	0,30
0,100	6	1606	228,78	25,8	7,18	62,3	402	3,49	97	0,70

та марки БН, однако стоимость обработки материала кругами с кубонитом марки БП ниже вследствие высокой стоимости кубонита марки БН.

Необходимо отметить, что на приведенных выше режимах алмазные и кубонитовые круги показали примерно одинаковый удельный расход, однако вследствие их различной стоимости целесообразнее использовать алмазные круги на новых связках М01Э9, МВ1, М04.

Влияние марки алмазов. Для определения влияния марки алмазов на исследуемые показатели испытывались круги АЧК 150х20х3х32 с алмазами АСР и АСВ зернистостью 125/100, 100/80 на связке М01Э9 и МВ1. Режимы шлифования образцов из быстрорежущей стали ($F_{шл}$=300 мм^2) были постоянными: $v_к$ = 19 м/сек, $S_{пр}$ = 0,5 м/сек, U = 6 в, $S_{пол}$ = 0,05 мм/дв.ход.

Удельный расход алмазов марки АСР 100/80–АСР 125/100 по сравнению с удельным расходом алмазов марки АСВ той же зернистости выше соответственно в 1,15 и 1,10 раза.

Как показали испытания, обе марки алмазов в кругах на связках М01Э9 и МВ1 имеют хорошую работоспособность, однако стоимость съема 1 г быстрорежущей стали Р18 кругами с алмазами АСВ несколько выше вследствие большей их стоимости.

Удельный расход алмазов на указанном режиме составляет соответственно для кругов с алмазами АСР и АСВ 4,9 и 4,4 мг/г, стоимость обработки 2,4 и 2,5 коп/г.

Испытаниями установлена высокая режущая способность кругов с алмазами марок АСР на связках М01Э9, МВ1, М04 (рис. 11). Практически эти круги при алмазно-электролитической обработке быстрорежущей стали Р18 с течением времени не засаливаются. Плотность тока, характеризующая протекание электрохимических процессов, стабильная и находится в пределах 30–50 а/см^2. Учитывая этот показатель работоспособности алмазных кругов при электролитической обработке, можно сделать вывод, что межэлектродный зазор между связкой и поверхностью образца все время поддерживается постоянным.

Таким образом, при электролитической обработке из экономических соображений следует применить круги с алмазами марки АСР зернистостью 80/63 – 125/100 100%-ной концентрации на связках М01Э9, МВ1 и М04, лучшая из них – М01Э9.

Влияние зернистости алмазов. Для определения оптимальной зернистости алмазов были исследованы круги АЧК 150х20х3х32 на связке М01Э9 с алмазами марки АСВ зернистостью 50/40, 63/50 и 125/100 100%-ной концентрации при шлифовании быстрорежущей стали Р18 ($F_{шл}$ =150 мм^2) на следующем режиме: $v_к$ =25 м/сек, $S_{пр}$ = 1,5 м/мин, $S_{пол}$ = 0,05 мм/дв.ход, U =9 в.

Результаты опытов представлены в табл. 7.

Увеличение зернистости от АСВ 50/40 до АСВ 63/50 приводит к снижению удельного расхода алмазов и стоимости обработки соответственно в 1,9 и 1,5 раза. Дальнейшее повышение зернистости до АСВ 125/100 уве-

личивает до 1,6 раза удельный расход алмазов и в 1,3 раза стоимость обработки по сравнению с зернистостью АСВ 63/50.

При зернистости алмазов в пределах 63/60 – 125/100 круги обеспечивают высокую режущую способность. Увеличение размера зерен в круге приводит к увеличению рабочего зазора между металлической связкой и обрабатываемым материалом, в результате чего уменьшается плотность тока и снижается интенсивность анодного растворения обрабатываемого материала.

При малых зернистостях имеет место малый межэлектродный зазор, который способствует высокой плотности тока и неизбежному искрообразованию, вследствие чего наблюдается высокий удельный расход. С увеличением зернистости алмазов возрастает межэлектродный промежуток, снижается плотность тока и, следовательно, возрастает доля механического съема в общем съеме материала. Вследствие этого возрастает и удельный расход алмазов.

Влияние концентрации алмазов. Для определения влияния концентрации алмазов на исследуемые показатели испытывались алмазные круги АЧК 150х20х3х32 АСВ 63/50 – М0139 при обработке быстрорежущей стали Р18 ($F_{шл}$ = 150 мм^2) на следующем режиме: $V_к$ = 25 м/сек; $S_{пр}$ = 1,5 м/мин, $S_{поп}$ = 0,05 мм/дв.ход; U = 9 в с изменением концентрации круга от 25 до 150%.

Результаты опытов (табл. 8) показывают, что концентрация алмазов значительно влияет на работоспособность кругов. Уменьшение концентрации алмазов марки АСВ от 100 до 25% несколько снижает удельный расход и стоимость обработки. При концентрации 25% имеет место быстрый износ круга по высоте и вследствие большого трения алмазоносного слоя круга об обрабатываемый материал высокая эффективная мощность. С увеличением концентрации до 100% эффективная мощность снижается, при этом в процессе шлифования принимает участие все большее количество алмазных зерен. При повышении концентрации до 150% уменьшается площадь круга, незанятая алмазами, которые играют роль диэлектриков. Процесс обработки сопровождается падением плотности тока и, как следствие, возрастанием абразивного воздействия алмазных зерен на обрабатываемый материал.

По экономическим соображениям при электролитической обработке целесообразно применять алмазные круги с концентрацией 25 и 100% – для алмазов марки АСВ и 100%-ной – для алмазов марки АСР.

Влияние размеров инструмента и марки стали. Испытания проводились кругом АЧК 150х20х3х32 АСВ 63/50–100 при обработке быстрорежущей стали на режиме: $V_к$ = 2,5 м/сек; $S_{пр}$ = 1,5 м/мин, $S_{поп}$ = 0,05 мм/дв.ход. Площадь обработки изменялась от 90 до 450 мм^2, а фактическая площадь контакта с кругом – от 0,6 до 3,0 см^2.

Исследованиями установлено, что площадь шлифования существенно влияет на эффективность электролитического процесса (табл. 9). В исследованном диапазоне площадей обработки наблюдается увеличение удельного

Таблица 7

Зависимость удельного расхода, производительности, эффективной мощности, плотности тока и стоимости алмазно-электролитической обработки быстрорежущей стали Р18 кругом АЧК 150х20х3х32 М0133-100 от зернистости круга

Зернистость	Объем наблюдений: количество опытов	Израсходовано алмазов, мг	Сошлифовано материала: г	Сошлифовано материала: см³	Удельный расход: мг/г	Удельный расход: мг/см³	Фактическая производительность обработки: мм³/мин	Фактическая производительность обработки: г/мин	Средняя плотность тока, а/см²	Средняя эффективная мощность, квт	Средняя стоимость съема 1 г материала, коп.
АСБ 50/40	6	977	179,86	20,7	5,4	47,3	106	0,92	130	0,10	2,74
АСВ 63/50	6	1007	364,98	42,1	2,8	23,9	103	0,89	94	0,11	1,88
АСВ 125/100	6	949	214,93	24,8	4,4	38,2	108	0,94	60	0,37	2,39

Таблица 8

Зависимость удельного расхода, производительности, эффективной мощности, плотности тока и стоимости алмазно-электролитической обработки быстрорежущей стали Р18 кругом АЧК 150х20х3х32 АСВ 63/50 М0133 от концентрации алмазов

Концентрация	Объем наблюдений: количество опытов	Израсходовано алмазов, мг	Сошлифовано материала: г	Сошлифовано материала: см³	Удельный расход: мг/г	Удельный расход: мг/см³	Фактическая производительность обработки: мм³/мин	Фактическая производительность обработки: г/мин	Средняя плотность тока, а/см²	Средняя эффективная мощность, квт	Средняя стоимость 1 г материала, коп.
25	6	274	142,97	16,4	1,9	16,7	100	0,87	80	0,34	1,62
75	6	832	178,91	20,6	4,7	40,4	104	0,90	82	0,20	2,50
100	6	1007	364,98	42,1	2,8	23,9	103	0,89	94	0,11	1,88
150	6	1963	186,18	21,5	10,5	91,4	110	0,95	75	0,40	4,40

Таблица 9

Зависимость удельного расхода, производительности, плотности тока, эффективной мощности и стоимости алмазно-электролитической обработки быстрорежущей стали Р18 кругом АЧК 150х20х3х32 – АСВ 63/50 – МОI33-I00-I08 от площади контакта с кругом

Площадь контакта, $см^2$	Объем наблюдений: Количество опытов	Израсходовано алмазов, мг	Обработано материала: г	$см^3$	Удельный расход: мг/г	$мг/см^3$	Фактическая производительность обработки: $мм^3$/мин	г/мин	Средняя плотность тока, $а/см^2$	Средняя эффективная мощность, квт	Средняя стоимость съема 1 г материала, коп.
0,6	7	I353	298,I7	34,4	4,5	39,3	66	0,57	II7	0,I2	3,02
I,0	6	I007	364,98	42,I	2,8	23.9	I03	0,89	94	0,II	I,88
I,6	7	I229	I95,02	22,5	6,3	54,5	I73	I,50	58	0,40	2,66
2,0	7	I603	276,36	3I,9	5,8	50,3	I90	I,65	63	0,46	2,44
2,6	6	II80	I34,75	I5,5	8,8	76,2	26I	2,3S	73	0,77	3,28
3,0	7	2753	I65,62	I9,I	I6,6	I44,I	254	2,2I	53	0,96	5,90

расхода и производительности с ростом площади обработки. Увеличение площади шлифования сопровождается снижением плотности тока с 117 до 53 а/см^2 при увеличении площади обработки в 5 раз (с 0,6 до 3 см^2). Снижение плотности тока ухудшает интенсивность электрохимического растворения материала, увеличивает механический съем, что способствует возрастанию эффективностей мощности. Отмечено, что на площадях обработки выше 300мм^2 ухудшаются условия попадания электролита в межэлектродный зазор по всей площади шлифования.

Для установления влияния обрабатываемого материала на работоспособность алмазных кругов проведены опыты кругом АЧК 150х20х3х32 АСВ 125/100 – М01Э9 – 100 при обработке ($F_{шл}$=300 мм^2) быстрорежущих сталей Р18, Р14Ф4, Р9Ф5, Р9М4 (ЭП344). Для сравнения испытывалась инструментальная сталь ХВГ. Опыты проводились в условиях жесткого электролитического шлифования на следующем режиме: $v_к$ = 25 м/сек; $S_{пр}$ = 1,5 м/мин; $S_{поп}$ = 0,05 мм/дв.ход; U = 9 в.

В процессе опытов установлено (табл. 10), что наилучшей обрабатываемостью в условиях жесткого электролитического шлифования обладают быстрорежущая сталь Р18 и инструментальная сталь ХВГ. На указанном режиме удельный расход и стоимость обработки составляют соответственно 3,5 – 3,6 мг/г и 1,80–1,69 коп/г, резание проходит очень мягко, с незначительной затратой эффективной мощности.

Обработка сталей повышенной теплостойкости сопровождается возрастанием удельного расхода и эффективной мощности в 1,6–1,8 раза по сравнению с обработкой стали Р18. Возрастает также и стоимость обработки.

Для получения более наглядной картины влияния марки стали на работоспособность алмазных кругов опыты по обработке указанных выше сталей проведены при упругом электролитическом шлифовании на станке мод. 3623 для электрохимической заточки твердосплавных резцов. Опыты проводились кругом АЧК 150х20х3х32 АСР 100/80 М01Э9–100 при $v_к$ = 25 м/сек, $S_{осц}$ = =70 дв.ход/мин, Р = 5 кГ, U = 6 в. И в этих условиях испытания подтвердили хорошую обрабатываемость стали Р18 алмазно-электролитическим способом. На указанном режиме обеспечивается низкий удельный расход (5,4 мг/г) при высокой производительности (268 мм^3/мин) и низкой стоимости обработки (1,78 коп/г) (рис. 14, табл. 10).

Хорошо обрабатывается также инструментальная сталь ХВГ; при этом была зафиксирована очень высокая производительность обработки (529 мм^3/мин) при удельном расходе 7,8 мг/г и стоимости обработки (2,1 коп/г).

Отмечена также худшая обрабатываемость быстрорежущих сталей повышенной теплостойкости Р14Ф4, Р9М4 (ЭП344) и Р9Ф5, обрабатывающихся с большим удельным расходом алмазов, который для указанных сталей соответственно равен 5,6; 7,9 и 8,6 м^2/г. Производительность обработки в 1,3 – 1,8 раза ниже, чем при обработке стали Р18.

Таблица 10

Зависимость удельного расхода, производительности, плотности тока, эффективной мощности и стоимости алмазно-электролитической обработки кругом АЧК 150х20х3х32-АСВ 125/100-М0133-100-108 от марки инструментального материала

Марка стали	Объем наблюдений: количество опытов	Израсходовано алмазов, мг	Сошлифовано материала, г	Сошлифовано материала, $см^3$	Удельный расход, мг/г	Удельный расход, $мг/см^3$	Фактическая производительность обработки, $мм^3$/мин	Фактическая производительность обработки, г/мин	Средняя плотность тока, $а/см^2$	Средняя эффективная мощность, квт	Средняя стоимость съема 1 г материала, коп.
ХВГ	5	649	187,90	20,6	3,5	31,5	214	1,86	64	0,7	1,80
Р18	6	836	231,04	26,6	3,6	31,4	202	1,75	53	0,9	1,69
Р14Ф4	6	1042	172,46	19,9	6,0	52,4	200	1,74	48	1,2	2,52
Р9М4 (ЭП344)	4	759	145,44	16,8	5,2	45,2	206	1,79	55	1,3	2,33
Р9Ф5	5	888	138,36	15,9	6,4	55,9	214	1,86	57	1,45	2,62

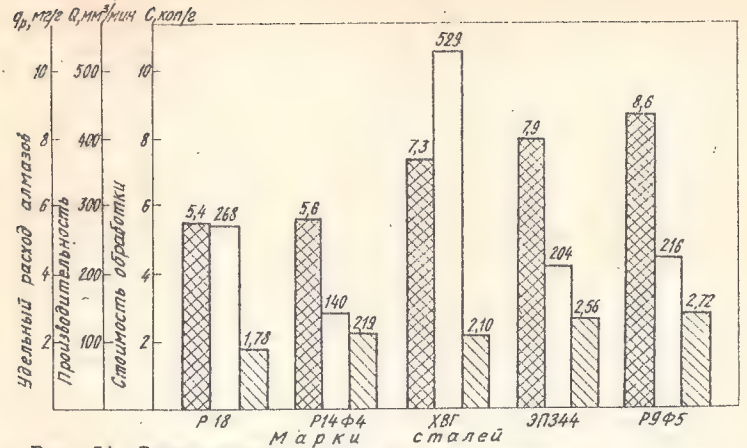

Рис. I4. Зависимость удельного расхода алмазов, производительности и стоимости обработки от марки стали:
АЧК I50х20х3х32 – АСР I00/80 – М0I3Э – I00;
$V_{кр}$ = 25 м/сек; p = 5 кГ/см^2; $S_{осц}$ = 65 дв.ход/мин.

Работоспособность алмазных кругов во времени.

Определение работоспособности алмазных кругов от продолжительности работы проводились на алмазном круге АЧК I50х2х3х32 АСР I00/80 – М0I3Э – I00–I08 при $V_к$ = 25 м/сек, Р = 5 кГ/см^2, $S_{осц}$ = 65 дв.ход/мин, U = 6 в, $F_{шл}$ = 300 мм^2 в условиях алмазно-электролитического и обычного шлифования (рис. I5).

Испытаниями установлено, что при электролитическом шлифовании работоспособность алмазных кругов меняется во времени. В первый период (8–I5 мин) наблюдается высокая производительность обработки. Однако в дальнейшем вследствие попадания в поры алмазоносного слоя круга продуктов анодного растворения и обрабатываемого материала повышается электрическое сопротивление рабочего участка, ухудшается электрохимическое растворение обрабатываемого материала, наблюдается снижение производительности обработки.

В дальнейшем производительность обработки меняется незначительно, имея тенденцию к снижению. Подтвердились также данные по обрабатываемости различных сталей: хорошо обрабатываются стали Р18 и ХВГ, хуже – быстрорежущие стали повышенной теплостойкости.

Установлено, что без электрического тока обработка и характер изменения работоспособности алмазного круга от времени одинаковы с условиями обработки с использованием электрического тока. Однако вследствие весьма интенсивного засаливания круга через 6–8 минут опыта имеет место очень низкая производительность шлифования (I0 – 25 мм^3/мин), что в 6–I0 раз меньше, чем при алмазно-электролитической обработке. Практически обрабатывать быстрорежущие стали обычной и повышенной производительности алмазными кругами на металлической связке обычным спосо-

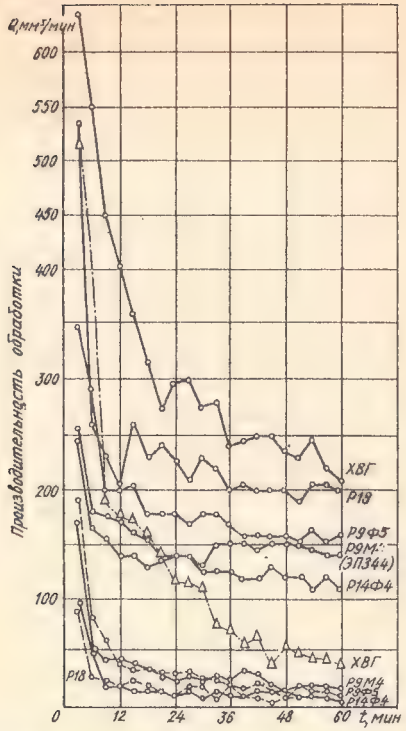

Рис. 15. Зависимость производительности от продолжительности обработки при алмазно-электролитическом и обычном алмазном шлифовании различных марок быстрорежущих сталей:
АЧК 150х20х3х32 – АСР 100/80 – МО13Э – 100–108;
$v_к$ = 25 м/сек; Р= 5 кГ/см²; $S_{осц}$ = 65 дв.ход/мин; U = 6 в; i = (80 ÷ 100) а/см²; $F_{шл}$ = 300 мм².

бом неэффективно вследствие чрезвычайно низкой производительности шлифования.

В ходе опытов проверялась чистота поверхности образцов после алмазно-электролитической обработки в зависимости от режимов обработки и характеристик алмазных кругов. Установлено, что алмазно-электролитическое шлифование быстрорежущих сталей обеспечивает высокую чистоту обработанных поверхностей. В ходе опытов не обнаружено существенного изменения шероховатости поверхности от режимов обработки и характеристик кругов. Чистота поверхности в исследованном диапазоне режимов обработки и характеристик кругов находилась в пределах ▽8 – ▽9.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ВНЕДРЕНИЕ АЛМАЗНО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ЗАТОЧКИ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ

Наряду с лабораторными исследованиями, в производственных условиях Киевского завода станков-автоматов им. Горького проводились испытания алмазно-электролитической заточки червячных зуборезных фрез из быстрорежущей стали Р18.

Для обеспечения выпускаемых станков необходимыми зубчатыми, звездчатыми передачами и шлицевыми соединениями завод использует в год 550 червячных фрез. Наибольшее применение имеют на заводе червячные зуборезные фрезы УИ-42I модулей 3 и 3,5 мм. Их расходуется в год 240 штук. Меньше применяются модульные фрезы m =(4÷5)мм (I00 фрез), шлицевые (80 фрез), а также прочие для нарезания звездочек и др. (I30 фрез).

Ввиду недостаточной обеспеченности завода кругами ЗТ 200х32-ЭБ40 СМI-К для заточки червячных фрез применяются также круги ПП 200хI3х32-ЭБ40 СМI-К. На полуавтомате мод. 3662 они правятся алмазным карандашом до придания им формы круга ЗТ и в таком виде эксплуатируются.

При заточке червячных фрез кругами из электрокорунда белого наблюдаются прижоги передней поверхности зубьев из-за того, что абразивные зерна из электрокорунда имеют твердость, близкую к твердости карбидов ванадия и других карбидов быстрорежущих сталей, большие радиусы округления вершин с отрицательными передними и задними углами. Зерна электрокорунда имеют в большинстве случаев тупые углы при вершинах режущих кромок, вследствие чего между зернами и обрабатываемой поверхностью возникает значительное трение и нагрев.

Наблюдаются также случаи скалывания зубьев червячных фрез при заточке. Скалывание зубьев может быть вызвано внутренними напряжениями, возникающими в основании зубьев при термической обработке, а также тяжелыми условиями шлифования. Чистота поверхности после заточки кругами из ЭБ находится в пределах $\nabla 6$ – $\nabla 7$. Имеет место большая запыленность рабочего места вследствие частых правок круга, что отрицательно сказывается на здоровье заточника и культуре производства заточного участка.

Согласно разработанному Институтом сверхтвердых материалов АН УССР проекту в заточном отделении инструментального цеха Киевского завода станков-автоматов им. Горького осуществлена модернизация заточного полуавтомата мод. 3662 для электролитической заточки червячных фрез алмазными кругами.

Модернизация станка заключается в подводе отрицательного полюса постоянного электрического тока от источника (выпрямитель ВСМР – 600/6) к алмазному кругу, положительного полюса – к обрабатываемой детали. Источник тока обеспечивал плавное регулирование напряжения U=(6÷ II) в и рабочего тока до 600 а.

Параметры постоянного тока (U, I) контролируются вольтметром и амперметром. На станке осуществлена изоляция алмазного круга и оправки

с затачиваемой фрезой от корпуса станка. Станок оборудован системой подачи и очистки электролита и системой отсоса паров электролита. В качестве инструмента применяются специальные алмазные круги формы А4Т (ГОСТ 16178-70).

В ходе производственных испытаний сравнивались два варианта заточки червячных фрез из быстрорежущей стали:

по существующей на заводе технологии (заточка кругами на ЭБ);

по опытной технологии (алмазно-электролитическая заточка).

Результаты производственных испытаний показали, что при алмазно-электролитической заточке достигается высокая чистота поверхности (∇ 9), износ зубьев по задним поверхностям уменьшается, вследствие чего увеличивается общий срок службы фрезы за счет роста переточек с 7 до 9. Это позволяет сократить расходы на инструмент, уменьшить годовое потребление червячных фрез для выполнения годовой программы по выпуску зубчатых и звездчатых передач, а также шлицевых соединений с 550 до 440 шт.

Экономия от снижения затрат на инструмент перекрывает расходы на приобретение алмазных кругов. С освоением серийного выпуска кругов формы А4Т их стоимость и затраты на заточку значительно снизятся.

Применение алмазно-электролитической заточки червячных фрез из быстрорежущей стали Р18 позволяет:

снизить трудоемкость заточки на 11%;

повысить на два класса чистоту затачиваемой передней поверхности;

повысить на один класс чистоту нарезанных зубчатых колес;

увеличить срок службы фрез в 1,2 - 1,3 раза.

Годовой экономический эффект от внедрения алмазно-электролитической заточки 550 червячных фрез составляет 2022 руб.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО АЛМАЗНО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ЗАТОЧКЕ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

В последние годы в нашей стране в связи с производством инструмента из синтетических алмазов на электропроводной основе метод электролитического шлифования все больше применяется для заточки твердосплавного режущего инструмента.

Алмазно-электролитическая заточка позволяет повысить производительность и снизить трудоемкость заточки, увеличить срок службы инструмента, повысить техническую культуру инструментального производства. Только круги из синтетических алмазов на новых связках обеспечивают высокую эффективность этого процесса обработки.

Исследования, проведенные Институтом сверхтвердых материалов АН УССР, установили возможность использования метода электролитического шлифования для высокоэффективной заточки режущего инструмента из быстрорежущей стали. Настоящие рекомендации по алмазно-электролитической заточке быстрорежущего инструмента разработаны на основании лабора-

торных исследований и производственных испытаний. Они могут быть использованы при заточке не только червячных фрез, но и другого инструмента из быстрорежущей стали.

Высокая эффективность применения алмазно-электролитической заточки обеспечивается при правильном выборе характеристики алмазных кругов – материала связки, марки алмазов, их зернистости и концентрации, формы и размеров алмазоносного слоя.

Связка. Для алмазно-электролитического способа заточки применяются круги на электропроводных металлических связках. Связка алмазных кругов при электролитической заточке является одним из важнейших факторов, определяющих работоспособность и производительность алмазного инструмента.

Оптимальной связкой при обработке быстрорежущей стали в отношении удельного расхода, производительности и стоимости обработки является МОІЗЭ. Незначительно отличается от нее по указанным показателям работоспособности связка МО4. Круги на связке МВІ, наряду с обеспечением несколько большей производительности, обладают повышенным расходом алмазов, однако могут также применяться при алмазно-электролитической заточке быстрорежущего инструмента.

Марка и концентрация синтетических алмазов во многом обеспечивают производительность и стоимость обработки. При изготовлении кругов на металлической токопроводной связке применяются синтетические алмазы марок АСР и АСВ.

Для кругов на связке МОІЗЭ лучшей маркой алмазов при 100%-ной концентрации является АСР, а для алмазов марки АСВ – 25 и 100%-ная концентрация. С точки зрения экономики целесообразно использовать алмазы марки АСР в кругах на связке МОІЗЭ.

Зернистость алмазов определяет величину межэлектродного промежутка между обрабатываемым материалом и связкой круга и непосредственно влияет на эффективность протекания электрохимического процесса шлифования.

Оптимальные результаты по показателям удельного расхода, производительности и стоимости обработки обеспечивают алмазные круги с зернистостью алмазов в пределах 80/63 – 125/100. Наряду с высокой производительностью они обеспечивают высокую чистоту обработанной поверхности, которая находится в пределах ▽8 – ▽9.

Форма и размеры кругов выбираются в зависимости от конструкции обрабатываемого инструмента, применяемого заточного оборудования. Для заточки резцов применяются в основном алмазные круги формы АЧК, АПВ с шириной алмазоносного слоя 10 и 20 мм. Для заточки червячных фрез из быстрорежущей стали применяются специальные круги формы А4Т, ширина алмазоносного слоя которого выбирается в зависимости от модуля фрезы.

Режимы обработки при алмазно-электролитической заточке быстрорежущего инструмента назначаются в зависимости от характеристики алмазного

круга, обрабатываемого материала и площади обработки с учетом требований, предъявляемых к качеству затачиваемого инструмента, применяемого заточного оборудования.

Напряжение источника постоянного тока является основным электрическим параметром электролитического шлифования. Наименьший удельный расход алмазов и стоимость обработки при высокой производительности обработки быстрорежущей стали Р18 имеет место при напряжении 9 – 10 в.

Окружная скорость круга. Из экономических соображений при алмазно-электролитическом шлифовании быстрорежущей стали рекомендуется применять скорость круга в интервале 25 – 35 м/сек, причем предпочтительнее 25 м/сек.

Продольная подача. Исследования влияния продольной подачи показали, что оптимальной продольной подачей при торцевом алмазно-электролитическом шлифовании быстрорежущей стали является 1,5 м/мин.

При заточке червячных фрез рекомендуется $S_{пр}$ = 2÷3 м/мин как минимальные по кинематике полуавтомата мод. 3662.

Поперечная подача. С увеличением поперечной подачи возрастает производительность процесса и снижается удельный расход и стоимость обработки. Наименьшее значение эти показатели имеют место при заточке инструменте с $S_{поп}$=0,05 мм/дв.ход (площадью шлифования $F_{шл}$=300 мм^2). При заточке инструмента с площадью шлифования $F_{шл}$=150 мм^2 рекомендуется $S_{поп}$=0,075 мм/дв.ход.

Состав электролита при алмазно-электролитической заточке быстрорежущего инструмента рекомендуется на основе нитрата и нитрита натрия (или калия) в следующем соотношении (%):

азотнокислый натрий (нитрат)	5
азотистокислый натрий (нитрит)	3
сегнетовая соль или бура	1
вода	остальное

Рекомендуемый электролит безвреден в работе и обладает антикоррозионными свойствами.

Технологический процесс алмазно-электролитической заточки червячных фрез из быстрорежущей стали

Переточка затупленных червячных фрез производится на заточном полуавтомате мод. 3662, модернизированном для электролитического шлифования.

Фреза закрепляется при помощи зажимной гайки на оправке; со стороны передней бабки при помощи торцевого винта крепится поводок, передающий крутящий момент от шпинделя передней бабки на оправку с фрезой.

Со стороны задней бабки оправка имеет обратный конус для увеличения площади контакта с центром токоподводящего устройства.

Для протекания электролитической заточки в зону обработки подается постоянный электрический ток, отрицательный полюс которого (–) подводит-

ся к алмазному кругу, положительный (+) – на оправку с червячной фрезой.

Алмазный круг крепится при помощи специальной оправки на шпинделе станка. Центра передней и задней бабок и алмазный круг изолированы от корпуса станка при помощи текстолитовых прокладок и стирокриловых покрытий.

В зону обработки между передней поверхностью червячной фрезы, подвергающейся заточке, и алмазным кругом подается технологическая жидкость – электролит.

Алмазно-электролитическая заточка червячных фрез осуществляется при одновременном вращении алмазного круга, подаче в зону обработки электролита и постоянного электрического тока и перемещения стола относительно алмазного круга.

После алмазно-электролитической заточки обработанная поверхность имеет темно-матовый оттенок в результате образования пленки продуктов анодного растворения. Для снятия этой пленки и придания заточенной червячной фрезе товарного вида последние проходы осуществляются при выключенных электрическом токе и поперечной подаче с обязательной подачей электролита в рабочую зону. После окончания заточки фреза снимается с оправки и во избежание коррозии промывается в 3%-ном содовом растворе.

И Н С Т Р У К Ц И Я
по алмазно-электролитической заточке червячных фрез из быстрорежущей стали

Процесс алмазно-электролитической заточки заключается в совместном механическом и электрохимическом воздействии на обрабатываемый инструмент.

Зона резания находится в среде электролита, через который пропускается постоянный ток низкого напряжения и высокой плотности. При этом происходит анодное растворение материала на положительном полюсе, которым является затачиваемая фреза.

Алмазные зерна шлифовального круга механически удаляют продукты электролиза. Благодаря одновременному протеканию электрохимического процесса и механического шлифования алмазным кругом обеспечивается высокая производительность заточки.

Для алмазно-электролитической заточки червячных фрез используется полуавтомат мод. 3662, модернизированный для этой цели.

Алмазно-электролитическая заточка червячных фрез из быстрорежущей стали осуществляется в следующей последовательности.

Полуавтомат для заточки партии фрез настраивается так же, как и при заточке их кругами из электрокорунда. Одновременно с включением двигателя шлифовальной головки включается двигатель подачи электролита в рабочую зону. Проверяется равномерность касания круга и зубьев по всей длине фрезы. При этом в рабочую зону обязательно подается электролит.

Перед включением источника питания постоянного электрического тока необходимо открыть вентиль подачи воды для охлаждения выпрямителя (для выпрямителя типа ВСМР). В одном из крайних положений стола при помощи кнопки "Пуск" подается электрический ток в рабочую зону. Величина напряжения и силы тока контролируется вольтметром и амперметром. Электролит заливается в бак емкостью 90–100 л.

Рекомендуемый состав электролита приведен ранее.

Подача электролита в зону резания должна составлять 4–6 л/мин.

Алмазно-электролитическая заточка червячных фрез из быстрорежущей стали осуществляется алмазным кругом формы А4Т. Алмазный круг должен быть тщательно отбалансирован совместно с планшайбой. Снятие круга с планшайбы до его износа не допускается. Торцевое биение круга не должно превышать 0,01 – 0,02 мм. Правка круга производится методом обратной полярности при помощи латунной или медной пластины в среде протекающего электролита и с обратным расположением полюсов электрического тока. Продолжительность правки круга 5–10 мин. Круг при его засаливании чистится бруском из электрокорунда зернистостью, на 1–2 номера большей зернистости алмазного круга.

Во избежание поломки алмазного круга или червячной фрезы запрещается при невыведенном из канавки фрезы шлифовальном круге и движущемся столе перебрасывать реверс стола вручную. Нужно не забывать, что, кроме реверса стола, рычаг также дает команду на поворот фрезы при делении.

Станок для алмазно-электролитической заточки червячных фрез требует тщательного ухода. Во избежание коррозии станка после работы необходимо насухо вытереть стол и смазать его тонким слоем масла.

Периодически по мере загрязнения электролита следует очищать бак. При смене электролита нельзя оставлять помпу на воздухе. Вынув из бака, ее необходимо промыть 2–3%-ным содовым раствором и после этого приступать к смене электролита. Бак, очистив от старого электролита и промыв его, заполняют чистой водой.

Отдельно необходимо растворить химикаты электролита согласно рецепту и перед заливкой в бак профильтровать через марлю или тонкое сито.

И Н С Т Р У К Ц И Я
по технике безопасности при работе на станках для электролитической заточки инструмента алмазными кругами

1. Работающий на станке должен быть тщательно ознакомлен с конструкцией станка, назначением всех его элементов, органов управления и технологическим процессом обработки, а также с настоящей инструкцией.

2. Перед началом работы необходимо убедиться, что станок и электродвигатели надежно заземлены, оба полюса тока надежно изолированы.

3. Для предупреждения механического травмирования и разбрызгива-

ния жидкости необходимо применение защитных ограждений. Запрещается работать без ограждений.

4. Перед началом работы необходимо:

а) осмотреть станок и удалить все посторонние предметы;

б) настроить станок и детали на заточку;

в) проверить состояние алмазного круга и подачу электролита в зону обработки;

г) отрегулировать подвижную часть кожуха алмазного круга при невращающемся круге.

5. Во время работы необходимо выполнять следующие правила:

а) при включении рабочих механизмов станка следует придерживаться последовательности, предусмотренной процессом работы на станке, чтобы исключить возможность столкновения подвижных механизмов;

б) при прекращении подачи электролита станок должен быть немедленно выключен, так как произойдет короткое замыкание между алмазным кругом и затачиваемой фрезой;

в) при правке алмазного круга бруском из карбида кремния должно быть снято напряжение с алмазного круга, правка производится охлаждением и в защитных очках;

г) снятие фрезы разрешается при выключенных токе и подаче электролита;

д) после установки очередной фрезы защитные кожухи должны быть закрыты, после чего включается технологический ток и подается электролит;

е) при отключении тока во время работы шпиндель станка и подача электролита должны быть выключены;

ж) при работе с электролитом следует избегать прямого контакта незащищенных частей человеческого тела с его каплями и брызгами*. Интенсивность подачи электролита в рабочую зону следует соизмерять с условиями обработки при минимальном разбрызгивании;

з) при работе обязательно пользоваться резиновыми перчатками;

и) запрещается работать на станке при отключенном воздухоочистителе;

к) запрещается работать на станке без предохранительных очков.

6. После окончания работы необходимо:

а) обязательно обесточить все элементы станка, выключить подачу воды для охлаждения выпрямителя и тщательно убрать станок;

б) металлические части станка смазать тонким слоем машинного масла;

в) тщательно вымыть руки теплой водой с мылом.

7. Надзор за выполнением данной инструкции возлагается на мастера заточного отделения.

---

* В случае попадания электролита в глаз необходимо обильно промыть глаза проточной водой, а затем обратиться к врачу.

Содержание

Введение 3
Лабораторные исследования. 4
Методика и условия проведения работы 4
Модернизация заточного полуавтомата мод. 3662, разработка приспособлений 6
Исследование процесса алмазно-электролитического шлифования быстрорежущей стали 13
Производственные испытания и внедрение алмазно-электролитической заточки червячных фрез 33
Рекомендации по алмазно-электролитической заточке червячных фрез из быстрорежущей стали 34
Инструкция по алмазно-электролитической заточке червячных фрез из быстрорежущей стали 37
Инструкция по технике безопасности при работе на станках для электролитической заточки инструмента алмазными кругами 38

Иван Павлович Захаренко,
Владимир Владимирович Шпаковский

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ЗАТОЧКА БЫСТРОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА КРУГАМИ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ И КУБОНИТА

(Научная информация)

Печатается по постановлению ученого совета Института сверхтвердых материалов АН УССР

Редактор А.А.Шатилова
Художественный редактор Н.И.Возный
Технический редактор Т.М.Зубрицкая
Корректор Н.Н.Зинченко

Подписано к печати 25.III 1975 г.БФ 01975.Бумага типогр.№ 3,60x84 1/16. Усл.печ.листов 2,38. Уч.-изд. листов 2,4. Тираж 1000. Зак. № 5-211. Изд. № 92И. Цена 14 коп.

Издательство "Наукова думка". Киев, Репина, 3.
Киевская типография научной книги республиканского производственного объединения "Полиграфкнига" Госкомиздата УССР. Киев, Репина, 4.

Цена 14 коп.